



# **ERISTYS- JA VÄLIKERROKSEN RAKENTAMINEN RATATUNNELISSA**

Heikki Järvenpää

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2013  
Infrarakentaminen  
Rakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Infrarakentamisen suuntautumisvaihtoehto

JÄRVENPÄÄ, HEIKKI:

Eristys- ja välikerroksen rakentaminen ratatunnelissa

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 5 sivua  
Joulukuu 2013

---

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin eristys- ja välikerroksen rakentaminen ratatunnelissa. Työhön oli sisällytetty myös rakennekerrosten ohessa tehtävät työvaiheet. Työn lähtökohtana oli, että Lemminkäinen Infra Oy tarvitsi työohjeen kyseisestä aiheesta ja työohje laadittiin tämän työn tulemana. Työohje on liitteessä 1.

Ensimmäiseksi työssä käytiin läpi rautatien rakennekerrokset, ja sen jälkeen siirryttiin varsinaiseen eristys- ja välikerrokseen, josta esitettiin materiaalin ja työn laatuvaatimuksia. Sitten siirryttiin osioon, jossa selvitettiin varsinaiset rakennustyön vaiheet case Kehärata Viinikkalan asemavarausta apuna käyttäen. Vaiheita oli yhteensä 10 kappaletta, ja ne sisälsivät tietoa koneiden valinnasta ja rakennustyön eri vaiheiden toteutusmenetelmistä. Lähteinä käytettiin kirjallisuutta, internet-materiaalia, haastattelua ja suullista materiaalia.

Case Kehärata Viinikkalan asemavarauksen työmaalta tunnistettiin koneiden valintojen jälkeen yhdeksän työvaihetta liittyen eristys- ja välikerroksen rakentamiseen ratatunnelissa. Työvaiheet olivat perustusten teko, kaapeli- ja palovesikaivojen asennus, ensimmäisen EV-kerroksen rakentaminen, radanalitusputkien ja sähkösuojaputkien asennus, eristeiden asennus tunnelin suuaukolla, palovesilinjan asennus, toisen EV-kerroksen rakentaminen, EV-kerroksen suojaus ja kaapelikourujen asennus. Tässä työssä perehdyttiin tarkasti jokaiseen edellä mainittuun vaiheeseen.

Lopuksi opinnäytetyössä pohdittiin työn sisältöä. Työssä päästiin määriteltyihin tavoitteisiin ja sen suurimpana hyötynä voidaan pitää valmistunutta työohjetta. Myös ilmaantui lisätutkimusaihe, joka koskee työtapoihin liittyvää kustannustehokkuutta. Lisäksi pidettiin tärkeänä yhteensovittamista työmaan muiden työvaiheiden kanssa. Työohjeen toimivuutta tulisi myös testata. Kokemuksena tekijä piti työn tekoa erittäin arvokkaana.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Bachelor of engineering  
Civil engineering

**HEIKKI JÄRVENPÄÄ:**

The Construction of Railway Substructure inside a Railway Tunnel

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 5 pages  
December 2013

---

This bachelor thesis explains how to construct railway substructure inside of a railway tunnel. The thesis contains also other steps included in building this layer. The thesis was based on a need for a guide for Lemminkäinen Infra Oy. The guide was made as a result of this work and is found as attachment 1.

The first part of this work contains the overall structural layout of the railway. After that the thesis focuses on the main part of the thesis which is the railway substructure. Material and quality demands for the layer are demonstrated in this part. The thesis continues with a section which explains through an example case, Kehärata Viinikkalan asemava-raus, how to build the layer and what other steps need to be taken to complete the construction successfully. There is 10 steps presented and those steps contain examples on the machines needed and work methods to be used. The information used to put this thesis together is gathered from literature and guides, internet sources, interviews and vocal communication with the employees of the site.

The final part of the thesis contains the summary of the work. The thesis met its goals and the biggest benefit it produced was the guide for Lemminkäinen Infra Oy. Also more topics arose on behave of this thesis. For example the question of what is the most efficient way to keep costs down during the construction? And how should one plan on making sure all the other contractors can work at the same construction site at the same time? In the end the making of the thesis proved to be an amazing experience.

---

Key words: construction, railway, track, tunnel, substructure

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	RAUTATIEN RAKENNEKERROKSET .....	7
2.1	Pohjamaa.....	7
2.2	Alusrakenne .....	8
2.3	Päällysrakenne .....	8
3	ERISTYS- JA VÄLIKERROS.....	10
3.1	Kiviaines .....	10
3.1.1	Eristyskerros.....	10
3.1.2	Välikerros .....	12
4	LAADUNVARMISTUS .....	13
4.1	Tiiviyskokeet .....	13
4.1.1	Eristyskerros.....	13
4.1.2	Välikerros .....	14
4.2	Materiaalin laadunvalvonta.....	14
4.3	Dokumentit .....	15
5	CASE KEHÄRATA/VIINIKKALAN ASEMAVARAUS.....	16
5.1	Kohteen esittely .....	16
5.2	Työn suorittaminen .....	18
5.2.1	Työryhmä ja -koneet .....	19
5.2.2	Imumuuntajien, maadoituserottimien ja turvalaitekaappien anturat.....	21
5.2.3	Paloposti- ja kaapelikaivot .....	22
5.2.4	Ensimmäinen EV-kerros .....	24
5.2.5	Radanalitukset ja sähkösuojaputket .....	26
5.2.6	Eristeet.....	27
5.2.7	Palovesiputkilinja.....	28
5.2.8	Toinen EV-kerros.....	33
5.2.9	Suojatäyttö .....	35
5.2.10	Kaapelikourut .....	36
6	POHDINTA.....	38
	LÄHTEET .....	39
	LIITTEET .....	40
	Liite 1. Eristys- ja välikerroksen rakentaminen – työohje työnjohtajalle ja työntekijälle .....	40
	Liite 2. Haastattelulomake.....	43
	Liite 3. Haastattelu – Jarmo Ilomäki, Lemminkäinen Infra Oy .....	44

**LYHENTEET JA TERMIT**

EV-kerros	Eristys- ja välikerros
EV1-kerros	Eristys- ja välikerroksen ensimmäisenä levitettävä eli alempi kerros, kun kerros tehdään kahdessa (tai useammassa) osassa
EV2-kerros	Eristys- ja välikerroksen toinen kerros
Kaksoistunneli	Kaksi tunnelia rinnakkain
KV-linja	Korkeusviivan linja, joka kuvaa radan korkeusasemaa rata- kiskojen alapinnan tasossa

## 1 JOHDANTO

Kaupunkien väkiluvun kasvaessa alkaa rakennettava pinta-ala jäädä vähäiseksi, jolloin syntyy tarve joko nousta korkeammalle tai painua syvemmälle maan alle. Maailmalla on jo vuosikymmeniä rakennettu korkeita pilvenpiirtäjiä, joilla saadaan pinta-ala hyödynnettyä tehokkaasti. Suomessa olosuhteet suosivat päinvastaista asetelmaa. Maanalaiset tilat ja tunnelit yleistyvät huomattavasti nopeammin kuin korkeat rakennelmat. Suomessa kallioperä on lähellä maan pintaa ja sitä on paljon. Paksuimmillaan kallioperä on jopa 65 kilometriä (Lehtinen 1998: 100).

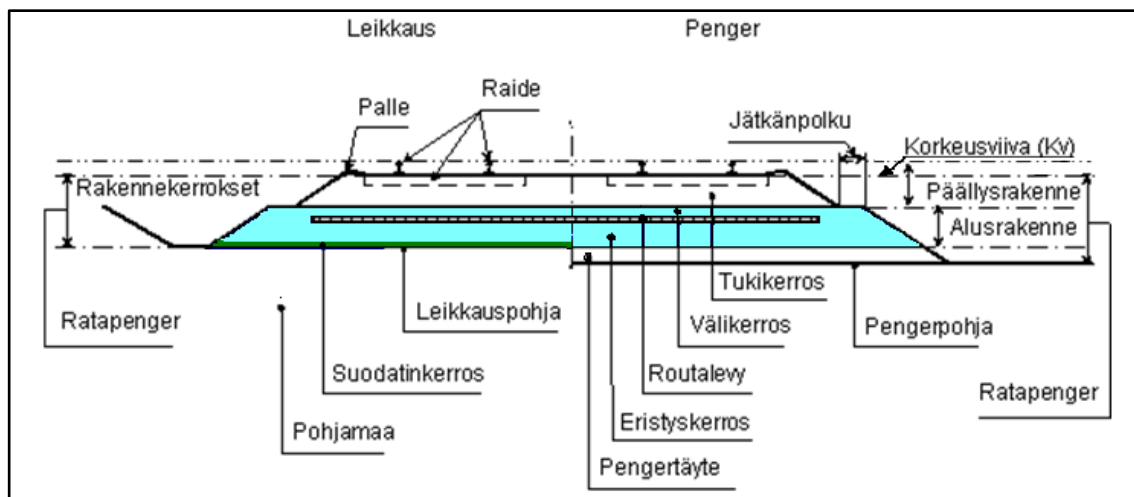
Tässä opinnäytetyössä selvitetään junaradan eristys- ja välikerroksen rakentaminen kalliotunnelissa. Työ vastaa kysymyksiin kuinka eristys- ja välikerros rakennetaan kalliotunnelissa? Millaisia työvaiheita kulkee kerroksen rakennuksen kanssa käsi kädessä? Entä millaiset vaatimukset ovat kerroksen materiaaleilla ja tiiviydellä? Työn ei kuitenkaan ole tarkoitus olla täysin yksiselitteinen työohje, vaan jokainen hanke on omanlaisensa ja siten vaatii aina sovelluksia. Työn lähtökohtana on tarjota perustietoa eristys- ja välikerroksen rakentamisesta oppaiden ja kirjallisuuslähteiden sekä kyseisen työmaan kokemusten avulla kalliotunnelissa, jota voidaan hyödyntää ja soveltaa tarpeen mukaan.

Tarve työlle syntyi Lemminkäinen Infra Oy:n urakoimasta Kehäradan Viinikkalan asemavarauksen työmaasta, kun työmaalla oli vaatimuksena toteuttaa työohje kyseisestä aiheesta. Työohje, joka on syntynyt tämän opinnäytetyön tulemana, pohjautuu kyseisellä työmaalla toteutettuihin työtapoihin. Kiinnostavaksi työn tekee työmaalla esiin tulleet vaikeudet EV-kerroksen rakennustöissä. Työohje löytyy tämän työn liitteestä 1.

Ensimmäiseksi työssä käsitellään rautatien kokonaisrakennetta, jonka tarkoituksena on pohjustaa eristys- ja välikerroksen lähtökohtia. Tämän jälkeen siirrytään itse eristys- ja välikerroksen teknisiin vaatimuksiin kappaleissa kolme ja neljä. Sitten käsitellään case Kehärata/Viinikkalan asemavarauksen avulla työn suorittaminen. Lopuksi haetaan vielä kehitysehdotuksia ja erilaisia näkökulmia eristys- ja välikerroksen töihin liittyen pohdintaosiossa.

## 2 RAUTATIEN RAKENNEKERROKSET

Tässä osiossa esitetään rautatien rakennekerrokset leikkauksessa ja penkereellä. Rakennekerrokset sisältyvät ratapenkereeseen, jossa on kaksi osaa, päällys- ja alusrakenne. Ratapenger rakennetaan leikkauksessa suoraan pohjamaan päälle ja korotusta tarvittaessa penkereen alle lisätään pengertäyte. Radan rakenne on esitetty kuvassa 1 ja tarkemmat tiedot löytyvät kappaleista 2.1, 2.2 ja 2.3. (Ratahallintokeskus 2008a: 5-8.)

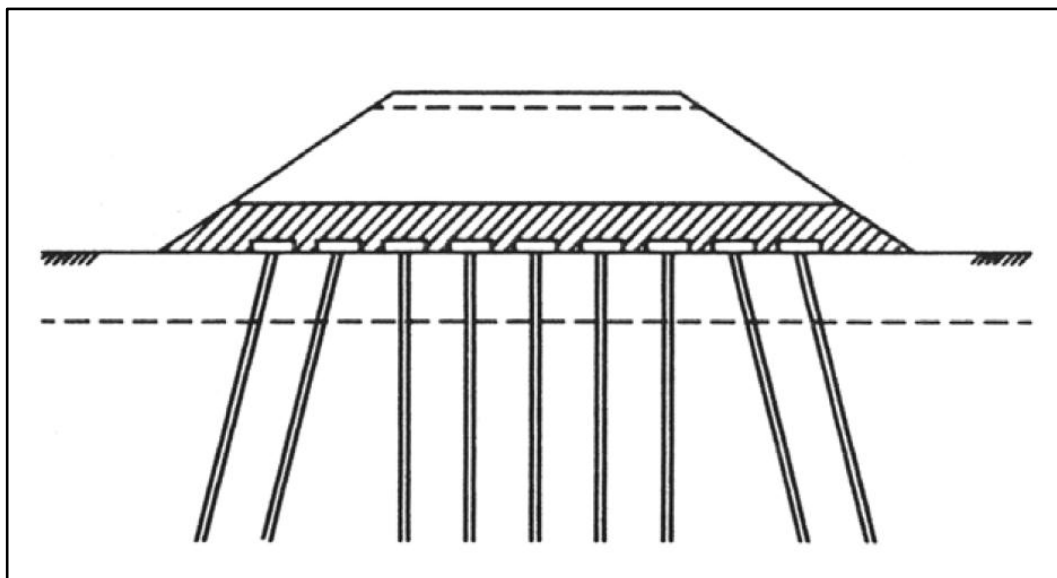


KUVA 1. Radan rakenne (Ratahallintokeskus 2008a: 8).

### 2.1 Pohjamaa

Pohjamaa eli perusmaa on ratapenkereen alla oleva maa (KUVA 1). Pohjamaa luokitellaan joko routivaksi tai routimattomaksi. Kun pohjamaa on routimaton, sitä ei routasuojata. Muussa tapauksessa asennetaan suunnitelmien mukaiset routalevyt. (Tiehallinto 2008a: 35-36.)

Pohjatutkimusten antamien tietojen avulla valitaan tarvittava pohjanvahvistusmenetelmä. Valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat maakerrosten paksuudet ja tiiveydet ja kovan pohjamaan tai kallion tason sijainti. Esimerkkejä menetelmistä ovat paalulaatta- tai paaluhatturakenne (KUVA 2), massanvaihto ja syvästabilointi. (Tiehallinto 2001: 11-12.)



KUVA 2. Paaluhatturakenne (Tiehallinto 2001: 16).

## 2.2 Alusrakenne

Alusrakenteen kerrokset riippuvat siitä, rakennetaanko rata leikkaukseen vai penkereelle. Sekä leikkaukseen että penkereelle rakennettavassa alusrakenteessa on eristys- ja välikerros sekä mahdollinen routalevy tai tärinäneristysmatto. Erona on, että leikkaukseen rakennettavaan alusrakenteeseen levitetään leikkauspohjan päälle suodatinkerros (KUVA 1). Pengerpohjan päälle voidaan levittää suoraan eristyskerros (KUVA 1). (Ratahallintokeskus 2008a: 5, 8; Ratahallintokeskus 2008b: 65.)

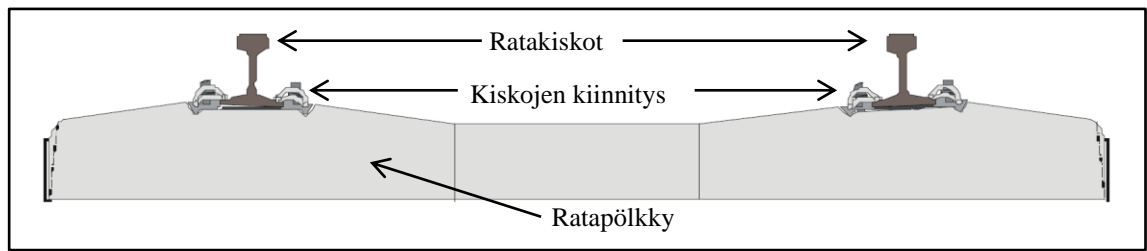
Alusrakenteen yläpinnan reunan ja tukikerroksen alapinnan reunan väliin jäävää osuutta kutsutaan jätkänpoluksi (KUVA 1) (Ratahallintokeskus 2008a: 5).

## 2.3 Päälysrakenne

Päälysrakenne sisältää tukikerroksen ja raiteen. Tukikerros on raidetta tukeva kerros, joka jakaa kuormia alusrakenteelle. Tukikerroksen materiaalina käytetään raidesoraa tai -sepliä, joka pitää raiteen geometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa. (Ratahallintokeskus 2002: 6.)

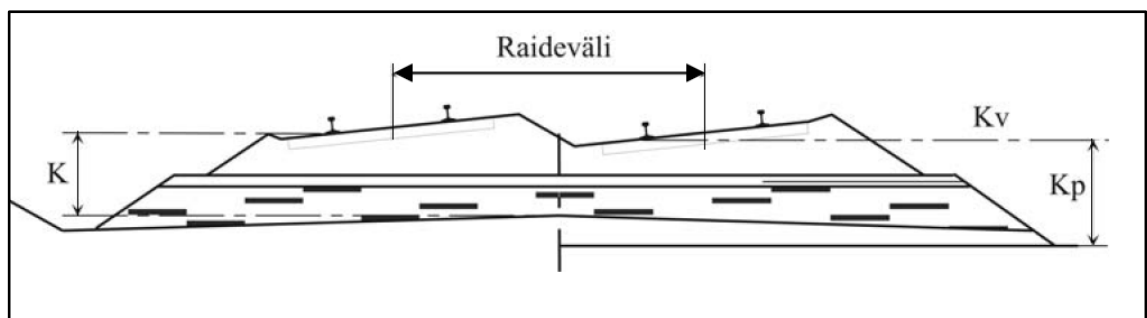
Raiteen osia ovat ratapölkyt, ratakiskot, kiskojen kiinnitys- ja jatkososat ja vaihteet (KUVA 3). Raide voi sisältää myös erikoisrakenteita, kuten muun muassa kiskon voitelulaitteita ja raidepuskimia. (Ratahallintokeskus 2002: 6, 79.)





KUVA 3. Raide (Ratahallintokeskus 2011: 11).

Raiteen alus- tai välilevyn alapinnan tasossa kulkee raiteen korkeusviiva (KV), joka määrittelee raiteen korkeusaseman. Kun raide kulkee kaarteessa, määritellään korkeusviiva alemman kiskon mukaan (KUVA 4). (Ratahallintokeskus 2010: 9.)



KUVA 4. Poikkileikkaus radasta kaarteessa (Ratahallintokeskus 2008a: 8).

### 3 ERISTYS- JA VÄLIKERROS

Eristyskerros on kerros, joka siirtää ja jakaa kuormia pohjamaalle, estää tai vähentää alla olevien maakerrosten routimista, muodostaa kantavan ja tasaisen alustan välikerrokselle, pysäyttää veden kapillaarisen nousun ja toimii suodatinkerroksena (Ratahallintokeskus 2008a: 7). Kerros levitetään kahdessa tai useammassa osassa, ja jos eristyskerros tehdään murskeesta, niin välikerros rakennetaan samanaikaisesti ja samasta materiaalista. Ennen kerroksen rakentamista on varmistettava, että alle jäävä pohja on suunnitellun muotoinen, täyttää vaadittavat tasaisuus- ja tiiveysarvot ja on sula. (Rakennustieto Oy 2010: 311–313.)

Välikerroksen tarkoitus on toimia tasaisena ja kantavana alustana tukikerrokselle. Se myös estää tukikerroksen materiaalien sekoittumisen alempiin kerroksiin. (Ratahallintokeskus 2008a: 9.)

#### 3.1 Kiviaines

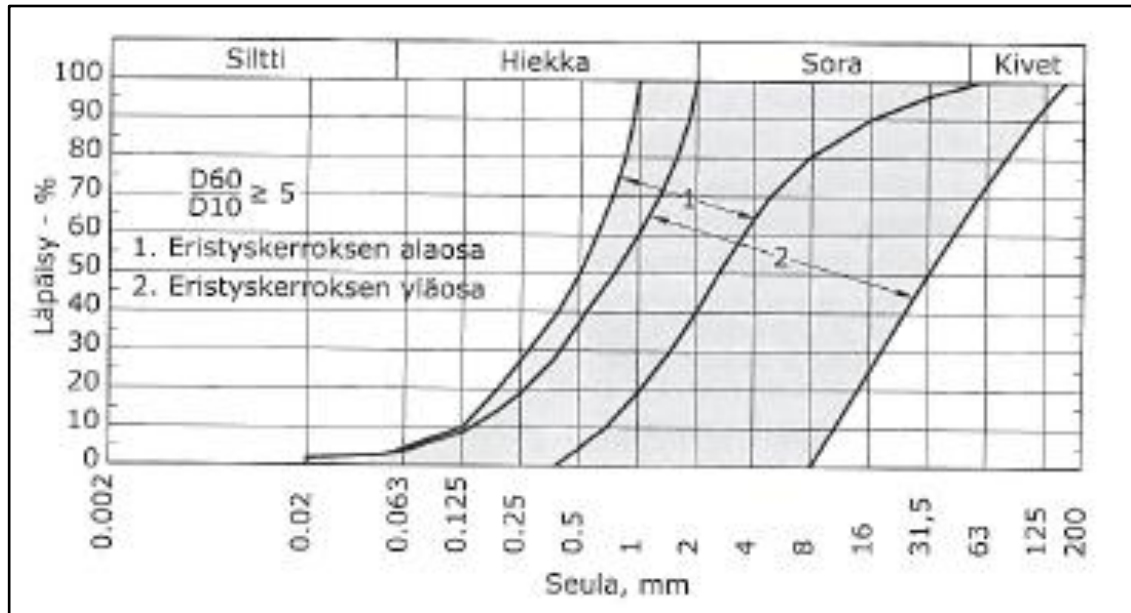
Tässä osiossa esitellään eristys- ja välikerroksessa käytettäviä kiviaineita ja niiden perusvaatimuksia. Lisää vaatimuksia liittyen EV-kerrokseen on esitetty kappaleessa neljä.

##### 3.1.1 Eristyskerros

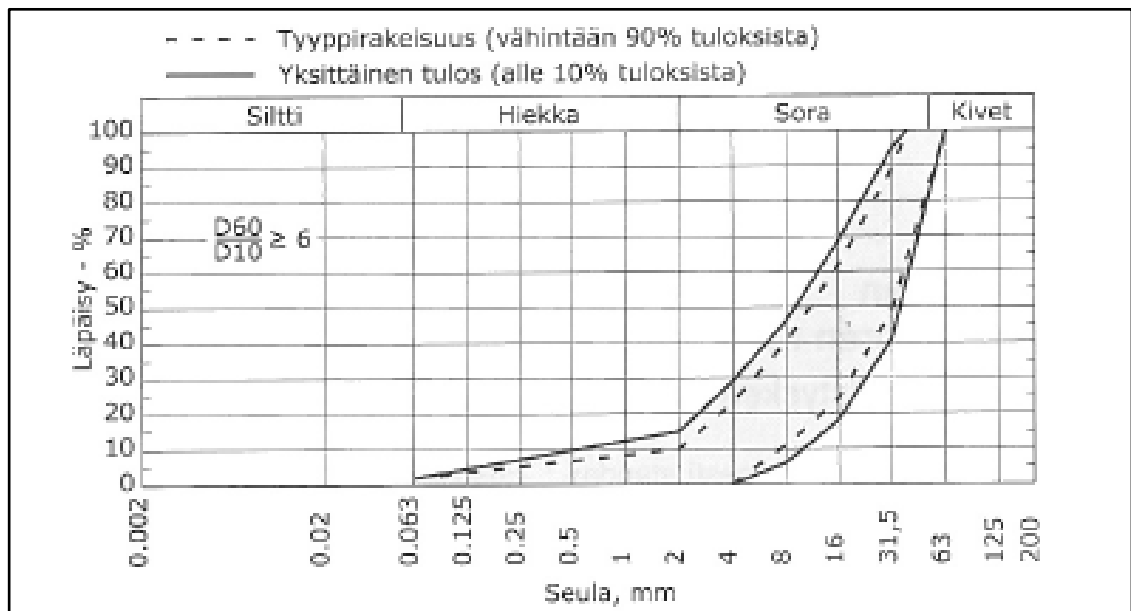
Eristyskerroksen materiaalina käytetään, joko routimatonta hiekkaa ja soraa tai kalliomursketta. Hiekka-sorakerroksen alaosassa (eristyskerroksen osa 1) ja yläosassa (eristyskerroksen osa 2) voidaan käyttää eri rakeisuuksilla olevia materiaaleja, joiden rakeisuuskäyrien rajat on esitetty kuvassa 5. Materiaalin tulee olla CE-merkittyä eikä siinä saa olla savea tai muita haitallisia epäpuhtauksia. (Rakennustieto Oy 2010: 297, 311.)

Mursketta käytettäessä pitää varmistua, että murske ei sisällä epäpuhtauksia eikä rapautumisherkkiä mineraaleja (katso lisäksi kappale 4.2). Murskeella vähintään 90 % materiaalista otetuista rakeisuustutkimuksista on oltava kuvassa 6 esitetyn tarkasteluvälin sisällä. Pesuseulontana määritetty hienoainespitoisuus (0,63 mm seulan läpäisy) saa olla enintään 2 % kaikissa tuloksissa. Raekokosuhte,  $C_u$  (joka lasketaan kaavalla  $D_{60} / D_{10}$ , jossa  $D_{60}$  tarkoittaa rakeisuuskäyrän 60 % läpäisyä vastaavaa raekokoa ja  $D_{10}$  tarkoittaa

10 % läpäisyä vastaavaa raekokoa), tulee olla vähintään kuusi 90 prosentissa tuloksista. Lopussa 10 prosentissa sen tulee olla vähintään neljä. Jäätymis-sulamiskestävyyttä ja routimisherkkyyttä ennakoidaan vedenimeytymisellä. Murskeen vedenimeytymisen enimmäismäärä laitteessa 4/31,5 mm on 0,5 %. (Rakennustieto Oy 2010: 312–313.)



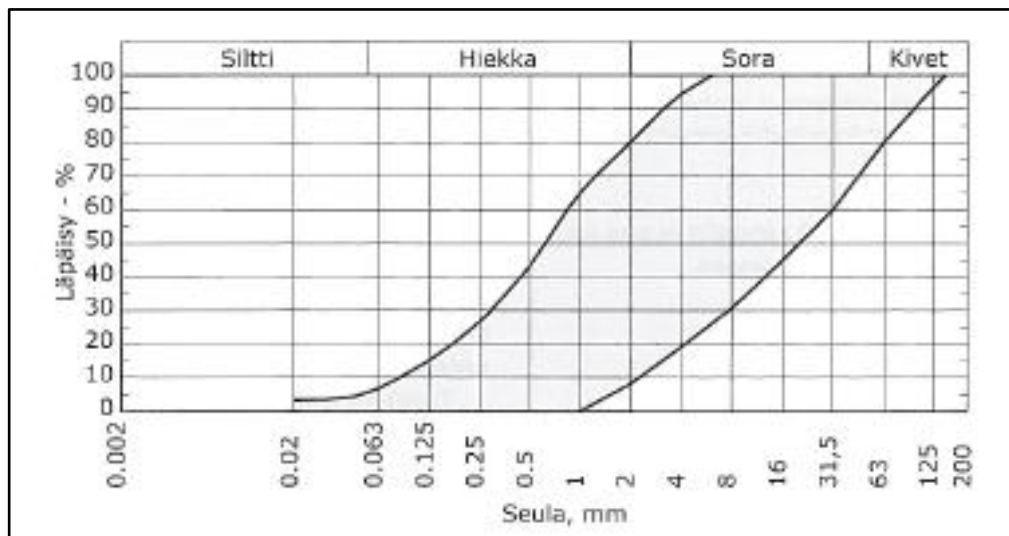
KUVA 5. Eristyskerroksen materiaalivaatimukset hiekka-sorakerrokselle (Rakennustieto Oy 2010: 311).



KUVA 6. Eristys- ja välikerroksen kalliomurskeen rakeisuusvaatimukset (Rakennustieto Oy 2010: 312).

### 3.1.2 Välikerros

Välikerroksen materiaalina voidaan käyttää routimatonta hiekkaa ja soraa tai kallio-mursketta. Kun käytetään hiekkaa ja soraa, tulee kiviaineksen rakeisuus olla kuvassa 7 esitettyjen rajojen mukaista. Murskeen vaatimukset ovat samat kuin eristyskerroksella. (Rakennustieto Oy 2010: 315).



KUVA 7. Välikerroksen hiekka-soramateriaalin rakeisuuden ohjealue (Rakennustieto Oy 2010: 315).

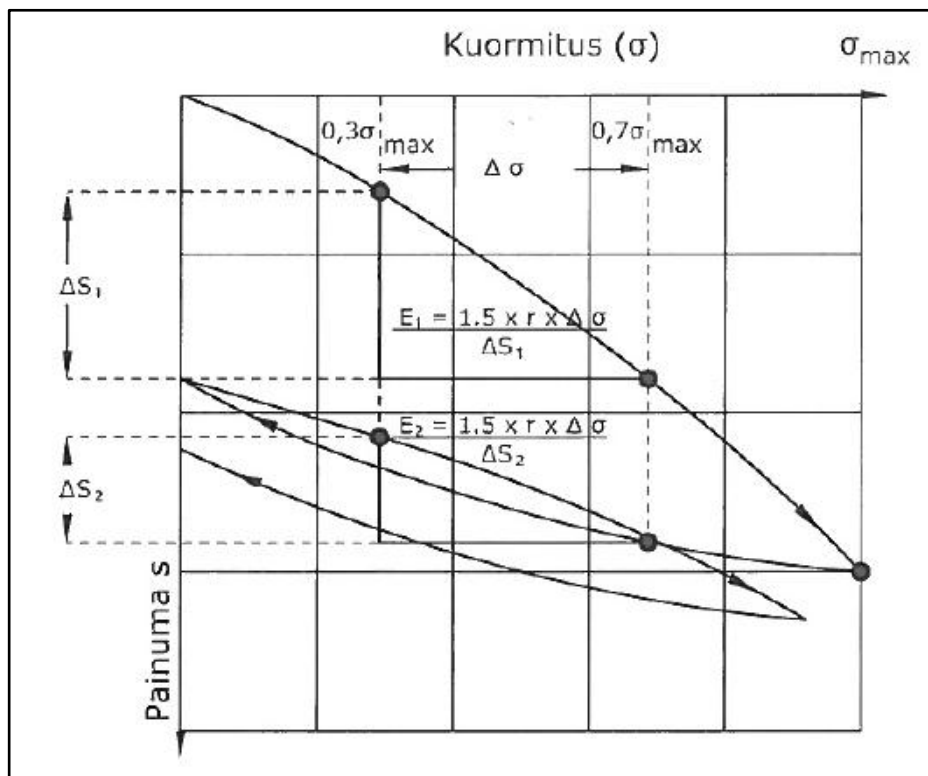
## 4 LAADUNVARMISTUS

### 4.1 Tiiviyskokeet

#### 4.1.1 Eristyskerros

Eristyskerros, joka tehdään hiekasta ja sorasta, tiivistetään rakentamisen etenemisen mukaan kahdessa tai useammassa kerroksessa. Jokaisessa kerroksessa on saavutettava keskiarvoltaan 95 % tiiviysaste parannetulla Proctor-kokeella. Kuitenkaan yksittäinen tulos ei saa alittaa 92 % tiiviysastetta. (Rakennustieto Oy 2010: 314.)

Kun eristyskerros tehdään murskeesta, käytetään tiiviyn määrittämisessä levykuormituskoe. Koe tehdään kahdessa kuormitusvaiheessa ja niiden pohjalta määritetään muodonmuutosmoduulit  $E_1$  ja  $E_2$ . Muodonmuutosmoduulit saadaan kuvan 8 mukaisesti. Muodonmuutosmoduuli  $E_2$  on oltava keskimäärin vähintään 160 MPa ja yksittäisessä mittauskohdassa 140 MPa. Jos yksittäisessä mittauksessa ei päästä vaadittuun arvoon, tehdään ensin uusintakoe ja sen jälkeen annetaan mahdolliset lisätiivistämisaatimukset. Kuormitusvaiheiden muodonmuutosmoduulien suhde  $E_2/E_1$  on oltava vähintään 3,0. (Rakennustieto Oy 2010: 314.)



KUVA 8. Muodonmuutosmoduuli (Rakennustieto Oy 2010: 550).

#### 4.1.2 Välikerros

Kun välikerros tehdään hiekka-sorakerroksena, tulee noudattaa parannetulla Proctor-kokeella samoja ohje arvoja kuin eristyskerroksella. Näin ollen keskiarvovaatimus välikerroksen pinnasta volymetrikokeella mitatuille kuivatilavuuspainoille on 95 % ja yksittäisen tuloksen vähimmäisarvo on 92 %. Murskeella tehdyn kerroksen levykuormituskokeella määritettyjen moduuliarvojen suhde  $E_2/E_1$  on enintään 2,0 (KUVA 8). Moduuliarvon  $E_2$  keskiarvo on oltava vähintään 180 MN/m<sup>2</sup> ja kertaluontoisena minimiarvona 150 MN/m<sup>2</sup>. (Rakennustieto Oy 2010:316.)

#### 4.2 Materiaalin laadunvalvonta

Eristys- ja välikerroksessa käytetylle kiviainekselle on määritelty vaaditut lujuudet standardin SFS-EN 13242 mukaisesti. Lujuusvaatimukset on esitetty taulukossa 1. Taulukosta nähdään, että eristyskerroksen alaosassa voidaan käyttää heikompaa kiviainesta kuin aivan tukikerroksen alla. Rapautumisherkkien opaakkimineraalien, pehmeiden muuttumis- ja rapautumistuotteiden ja murenevien tai liukenevien karbonaattimineraalien yhteenlaskettu osuus ei saa ylittää 5 %. Edellä mainittujen ja muiden pehmeiden mineraalien, kuten kiilteiden, yhteenlaskettu osuus ei saa ylittää 25 %. Kiilteen maksimiosuus mineraalikoostumuksessa on 15 %. (Rakennustieto Oy 2010: 312 – 313.)

Lujuusvaatimus tunnelissa on koko EV-kerroksella yläosan mukaan LA<sub>30</sub> ja MD<sub>15</sub> (Liikenneviraston Rautatieosasto 2010: 4).

TAULUKKO 1. Kiviainesten lujuusvaatimukset eristys- ja välikerroksella (Rakennustieto Oy 2010: 312).

	<b>Los Angeles luokka</b> Vaatimus	Edellyttää erityisperusteita	<b>Micro-Deval luokka</b> Vaatimus
Tason KV-1500 mm yläpuolella	LA <sub>25</sub>	LA <sub>30</sub>	MD <sub>15</sub>
Tason KV-1500 mm alapuolella	LA <sub>30</sub>	LA <sub>35</sub>	MD <sub>20</sub>

Kiviaineksen rakeisuutta tutkitaan pesuseulontana standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti ja niin tiheällä välillä, että voidaan varmistua vaatimusten saavuttamisesta. Näytteitä otetaan otto- tai välivarastointipaikalta vähintään 5000 tonnin välein eristyskerroksen

materiaalista ja 2000 tonnin välein välikerroksen materiaalista. Tulokset hyväksytetään valvojalla ennen materiaalin levitystä. (Liikenneviraston Rautatieosasto 2010: 5.)

Rakeisuutta tutkitaan myös jokaisesta tiivistettävästä kerroksesta vähintään 300 metrin välein. Pesuseulonnan tulokset on hyväksyttävä valvojalla ennen kerroksen varsinaista tiivistämistä. (Liikenneviraston Rautatieosasto 2010: 5.)

### **4.3 Dokumentit**

Rakentamisen dokumentointi ja laaturaportointi sisältää rakennussuunnitelman ja rakennusaineiston, laatukansion, työvaiheiden työ- ja laatusuunnitelmat, työn aikaiset esi-, pika- ja osaraportit, loppuraportin eli työn laaturaportin ja takuuajan laaturaportin. Myös työn aikana tehdyt mittaukset ja niiden dokumentit kerätään laatukansioon. (Tiehallinto 2009: 13.)

Eristys- ja välikerroksen rakentamisesta laaditaan osaraportti, jossa on todettu kiivaaineen rakeisuus ja lujuus. Lujuuden määritysmenetelmä on myös esitettävä. Valmiista rakenteesta raportoidaan tiiviys ja kerrospaksuus. Myös muut lopputuotteen ja kustannusten kannalta herkäät ominaisuudet tulee löytyä osaraportista. (Tiehallinto 2009: 14, 42.)

## 5 CASE KEHÄRATA/VIINIKKALAN ASEMAVARAUS

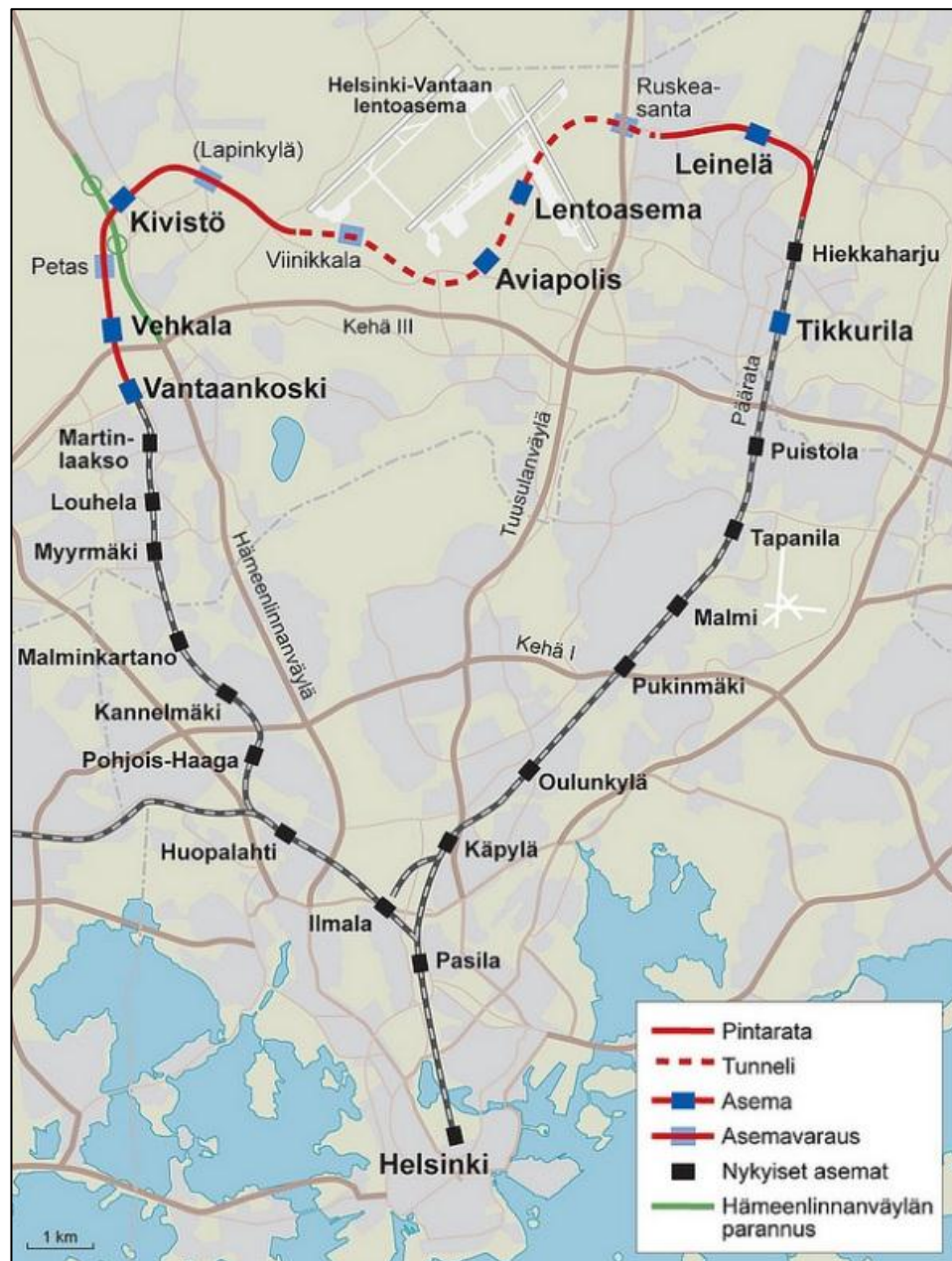
Tässä kappaleessa perehdytään eristys- ja välikerroksen rakentamiseen case Kehärata/Viinikkalan asemavarauksen avulla. Kappaleessa kerrotaan urakan sisällöstä sekä työkoneiden ja -tapojen valinnoista. Myös vaihtoehtoisia työmenetelmiä on tuotu esille.

### 5.1 Kohteen esittely

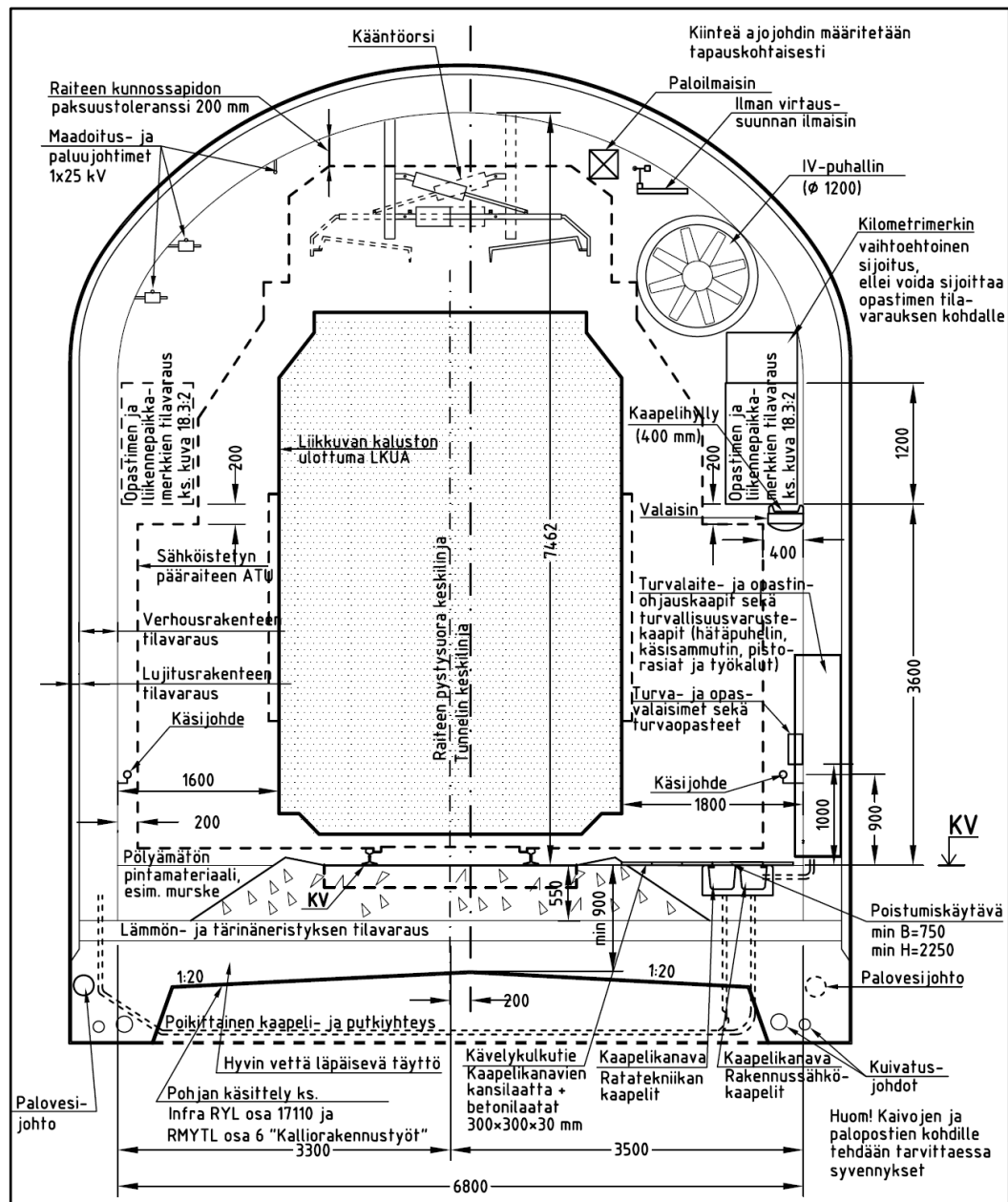
Kehärata on Liikenneviraston rakennuttama kaupunkirataverkon osa, joka muodostaa yhteyden pääradan ja Vantaankosken radan välille (KUVA 9). Kehärata on 18 kilometriä pitkä kaksiraiteinen lähiliikenteen kaupunkirata ja se yhdistää seudun asuin- ja työpaikka-alueita sekä tarjoaa kulkuyhteyden Helsinki-Vantaan lentoasemalle. Lentoaseman alue alitetaan kahdeksan kilometriä pitkässä tunnelissa (KUVA 10), jonka yhteyteen rakennetaan Aviapoliksen ja Lentoaseman tunneliasemat sekä Ruskeasannan ja Viinikkalan tunneliasemavaraukset. (Liikenneviraston [www-sivusto 2013b](#).)

Viinikkalan asemavaraus kattaa 2,6 kilometriä pitkän kaksoistunneliosuuden tunnelin länsipäässä, jonka sisustusurakkaan valittiin Lemminkäinen Infra Oy. Sisustusurakkaan kuuluu tunneliasemavarauksen rakentaminen, osa tunneleiden ja yhdystunneleiden rakennusteknisistä töistä, maanalaiset työt päällysrakenne pois lukien ja huoltotunnelin sisäänkäyntirakennuksen rakentaminen. Urakkaan ei kuulu sähköradan eikä turva- tai ohjauslaitteiden asennustöitä. (Liikenneviraston [www-sivusto 2013a](#).)





KUVA 9. Kehäradan sijainti kartalla (Liikenneviraston www-sivusto 2013c).



KUVA 10. Poikkileikkaus yksiraiteisesta ratatunnelista (Ratahallintokeskus 2008b: 81).

## 5.2 Työn suorittaminen

Lähtökohta työmaalla oli, että louhinnat olivat valmiit ja pohjamaa sekä salaojat ja sala-ojakaivot olivat asennettuina. Pohjamaan tasaisuus ja tiiviysvaatimukset varmistettiin kantavuuskokeilla ja tarkemittauksilla, jolloin eristys- ja välikerroksen tekeminen oli mahdollista heti aliurakoitsijavalintojen jälkeen, laaditun työaikataulun mukaisesti. (Eskelinen 2013.)

Työmaalla töiden järjestyksen ja aikataulutuksen merkitys korostui, koska tunnelin rajoittava vaikutus liikkumiseen oli otettava huomioon. Tunnelin poikkileikkauksesta

nähdään, että juurikaan ylimääräistä liikkumistilaa tunnelissa ei ole (KUVA 10). Työmaan kulkureitteinä toimivat huoltotunneli, joka liittyi ratatunneliin urakka-alueen keskivaiheilla, ja läntinen suuaukko, jonne kaksoistunneli päättyy. Muut työvaiheet vaativat pääosin vapaan kulun ajoneuvolla työpisteelle, joten kaksoistunnelin toinen tunneli on pidettävä aina avoinna liikenteelle.

### 5.2.1 Työryhmä ja -koneet

Maanrakennusvastaava Jarmo Ilomäki (2013) kertoo, että Kehäradan Viinikkalan työmaalla valittiin EV-kerrosta rakentavaksi työryhmäksi:

- Kaivinkone, KKHp16 (KUVA 11)
- Täryjyry, 50 kN, 1-valssi (KUVA 12)
- Tiehöylä (KUVA 13)
- Vesiajoneuvo (käytännössä traktori ja vesisäiliö, jossa suutin perässä) (KUVA 14)
- Mittamies.

Varsinaisia apumiehiä ei Ilomäen mukaan tarvita kerroksen täyttötöihin, mutta valuja ja putkiasennuksia varten on oltava lisätyövoimaa. Apukoneena voidaan käyttää esimerkiksi pyöräkuormaajaa (KUVA 15). Mittamies on tunnelityömaalla oleellinen, koska GPS-laitteisto ei toimi maan alla.



KUVA 11. Kaivinkone, KKHp16 (Lemminkäinen Infra Oy 2013).





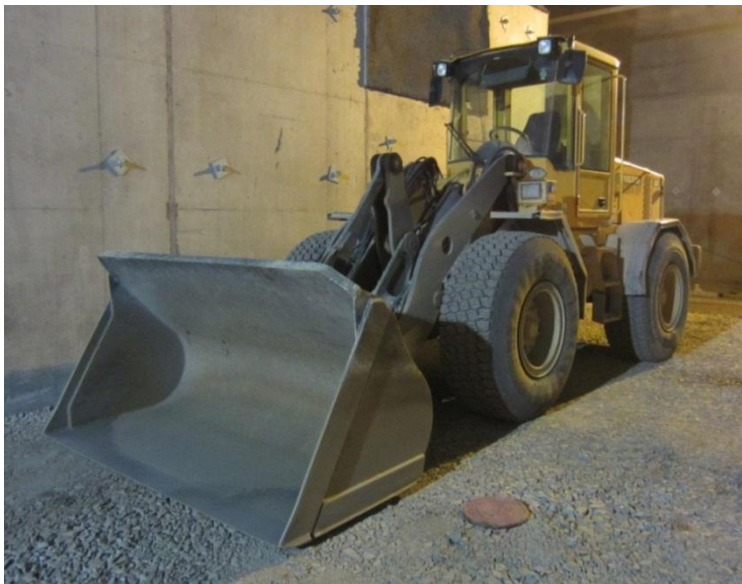
KUVA 12. Täryjyrä (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 13. Tiehöylä (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 14. Traktori ja vesisäiliö (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 15. Pyöräkuormaaja KUP18 (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

### 5.2.2 Imumuuntajien, maadoituserottimien ja turvalaitekaappien anturat

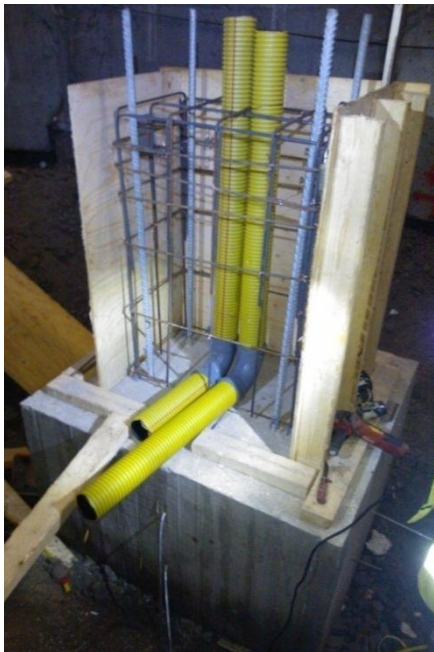
Työt alkavat anturapohjien auki kaivuilla. Sijainnit tarkistetaan suunnitelmista ja kohdistetaan paikalleen mittamiestä apuna käyttäen. Jos perustus on kalliopohjalla, puhdistetaan kallio ja merkitään tartuntojen paikat. Tämän jälkeen porataan tarvittavat reiät (KUVA 16) ja juotetaan määrätyt tartuntaraudat. Jos perustus on maanvarainen, tehdään perustukselle arina ja tiivistetään se suunnitelmien määritysten mukaan.

Kun pohjatyöt ovat kunnossa, siirrytään betonitöihin. Tässä vaiheessa on hyvä tarkistaa mahdollisten putkitusten tarve (KUVA 17). Betonitöihin kuuluvat muotin teko, raudoi-

tus, maadoitukset, putkitukset, itse valutyö, jälkihoito ja muotin purku. Lopuksi kaivanto täytetään pohjamaan täyttöainesta käyttäen alkuperäiseen korkoonsa ja tiivistetään.



KUVA 16. Puhdistettu ja porattu kalliopohja (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 17. Anturan yläosa - muotti, raudoitus ja putkitus (Lemminkäinen Infra Oy).

### 5.2.3 Paloposti- ja kaapelikaivot

Paloposti- ja kaapelikaivojen sijaintitiedot saadaan suunnitelmista ja mittamies merkitsee paikat työmaalla. Ensimmäiseksi asennetaan palovesikaivojen pohjaan tulevat poistovesiputket (KUVA 18). Sitten tehdään kaivojen arinat määrättyihin asemiin ja tiivistetään ne.



Ennen kaivojen asennusta on suositeltavaa tehdä läpivientien poraukset. Läpiviennit voidaan myös tehdä jo tehtaalla. Jos läpiviennit tehdään kuitenkin vasta työmaalla, merkitsee mittamies suunnitelmien mukaiset paikat ja reikien koot kaivoihin. Reikien yhteensovitus kaivon sisään tulevan venttiiliryhmän kanssa on oleellista. Poraukset tehdään timanttitöinä (KUVA 19). Kun reiät on porattu, asennetaan kaivot arinoiden päälle geometrisesti oikeaan kohtaan ja korkoon mahdolliset kallistukset huomioon ottaen (KUVA 20). Kaivojen sijaintien oikeellisuus on syytä tarkistaa ennen seuraavia työvaiheita.

Kaivoasennusten jälkeen asennetaan palovesikaivojen pohjiin tyhjennyskaivot ja mahdolliset vahvikkeet pohjalaattaa varten (KUVA 21). Palovesikaivoihin valetaan pohjalaatat, joihin on syytä tehdä kallistukset kaivolle.



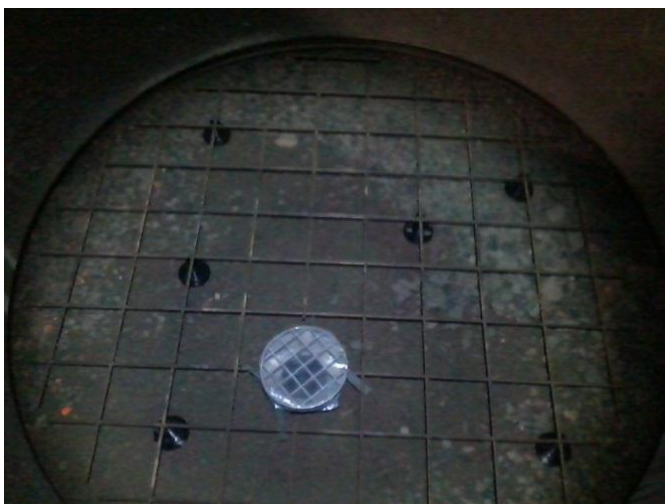
KUVA 18. Palopostikaivon pohjalta nouseva poistovesiviemäri (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 19. Palopostikaivo, jossa on tehty läpivientiporaus palovesiputkelle (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 20. Paikalleen asennettu kaapelikaivo, jossa poraukset sähkösuojaputkia varten on tehty (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 21. Asennettu poistovesikaivo ja teräsverkko (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

#### 5.2.4 Ensimmäinen EV-kerros

Kyseisellä työmaalla eristys- ja välikerros tehdään murskeesta. Murske levitetään kahdessa osassa, EV1- ja EV2-kerroksina. Ensimmäisen EV-kerroksen yläpinta tehdään Viinikalassa kaivinkoneella ja täryjyrällä KV-linjasta 850 mm alaspäin. Korkoasema ja työtapa voivat muuttua työmaakohtaisesti. Kerroksella on InfraRYL 2010:n mukaiset vaatimukset materiaalin ja tiiviiden suhteen (katso kappaleet kolme ja neljä). Varsinkin materiaalin lajittumisen estämiseen on kiinnitettävä huomiota levityksen, välivarastoinnin ja kuljetuksen osalta.

EV1-kerros tehdään työmaalla Kehäradan tiivistystyöohjeessa annettujen ohjeiden mukaisesti. Kerralla tiivistettävä kerros on maksimissaan 500 mm, mutta varsinainen ker-



rospaksuus määritetään koetiivistyksen perusteella. Kyseisellä työmaalla määritettiin kerrospaksuudeksi 300 mm.

Jokainen tiivistettävä kerros kastellaan tasaisesti runsaalla vedellä ennen tiivistystä. Rakenne jyrätään koetiivistyksen osoittamat kerrat ja ylijyräystä tulee välttää, jotta murske ei jauhaannu. Lähtökohtana jyräyskertojen määrityksessä on käytetty taulukkoa 2. Vaadittuun tiiviyteen päästään kyseisellä työmaalla jyräämällä kerros ensin edes taikaisin ilman täryä. Sitten kerros kastellaan kunnolla ja jyrätään neljästä kuuteen kertaa täryllä. Lopuksi pinta jyrätään vielä ilman täryä, jotta pinnasta saadaan kiinteä.

TAULUKKO 2. Tiivistyskoneiden ohjeellinen jyräyskertamäärä eri kerrospaksuuksilla maa-aineksen ollessa lähellä optimivesipitoisuutta (Rakennustieto Oy 2010: 249).

Jyrätyyppi	Paino, t	Ylityskertojen ohjearvo															
		Suodatin-/eristyskerros		Jakava kerros / välikerros		Kantava kerros		Tien tai kadun alusrakenne H <sup>1)</sup> ≤ 30			Tien tai kadun alusrakenne H <sup>1)</sup> > 30			Louhe		Radan penger-täyttö	
Kerrospaksuus enintään, m		0,25	0,5	0,25	0,4	0,2	0,3	0,25	0,5	0,8	0,25	0,5	0,8	0,8	1,0	0,4	0,8
Täryjyrät <sup>2)</sup>																	
– vedettävät	> 5	4	7	5	8	5	9	3	6	11	3	7	13	6 <sup>12)</sup>	7 <sup>12)</sup>	5	5 <sup>12)</sup>
– 2 täryvalssia	> 5	3	4	3	5	3	6	2	4	8	2	4	8	–	–	–	–
– 1 täryvalssi	> 5	4	7	5	8	6	9	3	6	11	3	6	11	5 <sup>13)</sup>	7 <sup>13)</sup>	5	5 <sup>13)</sup>
Kumipyöräjyrät <sup>3)</sup>	< 20 <sup>4)</sup>	6	–	8	–	10	–	6	–	–	6	–	–	–	–	–	–
	> 20 <sup>5)</sup>	4	8	6	12	8	12	4	8	14	3	6	11	–	–	10	–
Staatit valssijyrät <sup>6)</sup>	> 10	–	–	–	–	10	–	7	–	–	7	–	–	–	–	–	–
Pyöräkuormaimet <sup>7)</sup>	> 40	–	–	–	–	–	–	4	8	14	3	7	13	–	–	–	–
Puskutraktorit <sup>8)</sup>	> 10	–	–	–	–	–	–	4	–	–	6	–	–	–	–	–	–
Sorkkajyrät <sup>9)</sup>	7...10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10)	10)	–	–	–	–	–
Tärylevyt <sup>11)</sup>	> 0,05	6	–	7	–	6	–	5	–	–	6	–	–	–	–	–	–
	> 0,1	5	–	6	–	6	–	4	–	–	5	–	–	–	–	–	–
	> 0,2	4	–	5	–	5	–	3	–	–	4	–	–	–	–	–	–
	> 0,4	3	–	4	–	4	–	3	–	–	3	–	–	–	–	–	–

<sup>1)</sup> H = hienoinenpitoisuus (0,063 mm:n seulan läpäisy-%).

<sup>2)</sup> Eivät sovellu runsaasti koheesioainesta sisältävien maalajien tiivistämiseen. Amplitudi aluksi noin 1,5 mm ja viimeiset ylityskerrat < 1 mm, penkereen ja suodattimen jyräysnopeus 1...3 km/h, jakavan ja kantavan 3...6 km/h. Viivakuorma > 1,5 t/m.

<sup>3)</sup> Eivät sovellu runsaasti koheesioainesta sisältävien maalajien tiivistämiseen, rengaspaine soraisilla maalajeilla 500 kPa ja hiekkaisilla maalajeilla 300 kPa, jyräysnopeus yli 5 km/h.

<sup>4)</sup> Pyöräpaino > 2 t.

<sup>5)</sup> Pyöräpaino > 3 t.

<sup>6)</sup> Eivät sovellu märkien silttien maalajien tiivistämiseen. Viivakuorma > 5 t/m.

<sup>7)</sup> Eivät sovellu märkien silttien maalajien tiivistämiseen.

<sup>8)</sup> Soveltuvat ohuiden kerrosten ja märkien silttien tiivistämiseen.

<sup>9)</sup> Soveltuvat silttien ja savien tiivistämiseen.

<sup>10)</sup> Urakoitsijan on esitettävä käyttämänsä sorkkajyrän tekniset tiedot (myös sorkan pituus, sorkan pään pinta-ala) ja työntekijöille annettavat jyräysohjeet.

<sup>11)</sup> Käytetään yleensä ahtaiden alueiden ja kaivantojen täytössä kitkamaalajien tiivistämiseen. Teho riittää yleensä vain ohuen kerroksen (100...250 mm) tiivistämiseen. Parempaan tiivistystehoon päästään tärylevyillä, joiden pohja on muotoiltu siten, että alkutiivistyksen jälkeen levy tiivistää pienemmällä pinta-alalla ja siten suuremmalla pintapaineella.

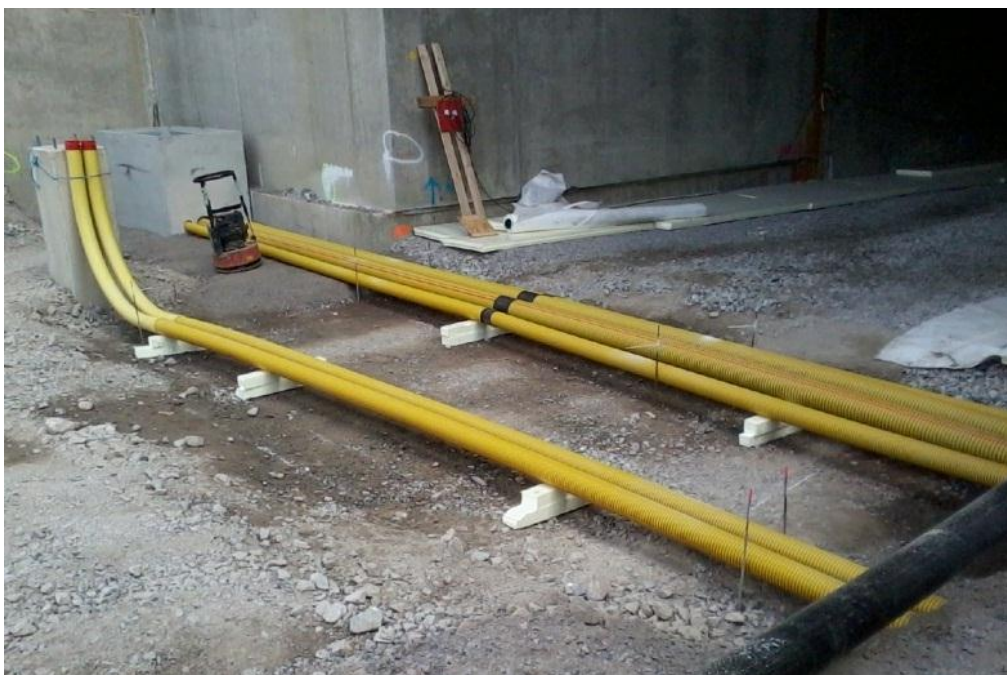
<sup>12)</sup> Paino vähintään 8 t.

<sup>13)</sup> Paino vähintään 13 t.

### 5.2.5 Radanalitukset ja sähkösuojaputket

Radanalituksia ja sähkösuojaputkia asennetaan täyttötöiden etenemisen mukaan. Syvimmät alitukset saattavat kulkea niin matalalla, että ne voidaan tehdä jo ennen ensimmäistä EV-kerrosta. Suojaputkien materiaaliin on syytä kiinnittää huomiota jo putkia tilatessa. Putkien korkoasemat ja etäisyydet toisiinsa nähden saadaan suunnitelmista ja mittamies merkitsee asemat työmaalla. Putket asennetaan määrättyihin paikkoihin esimerkiksi eristetukien päälle ja harjaterästankoja apuna käyttäen (KUVA 22). Tuennoilla varmistetaan, etteivät putket pääse liikkumaan valun aikana (KUVA 23).

Betonimassan tiedot saadaan suunnitelmista, ja massan tilausta tehdessä on otettava huomioon massan notkeus. Massan pitää olla tarpeeksi jäykkää, jotta vaaditut kallistukset saadaan tehtyä mieluiten ilman muottia (KUVA 24). Valulle on tehtävä lopuksi vaadittavat jälkihoitotyöt, esimerkiksi pintahieronta, kastelu ja peittäminen.



KUVA 22. Radan alittavat sähkösuojaputket (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 23. Käynnissä oleva radanalituksen valutyö (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 24. Valun kallistuksien teko (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

### 5.2.6 Eristeet

Lämmöneristeitä asennetaan vain erikoistapauksissa, kuten esimerkiksi tunnelin suuaukoilla, ja niiden tilanvaraus on EV1-kerroksen yläpinnassa, samassa tasossa runkome-lueristuksen kanssa (KUVA 10). Kyseisellä työmaalla eristeet asennetaan tunnelin suuaukolta suunnitelmassa vaaditun matkan päähän sisälle tunneliin tunnelin molemmille reunoille 1500 mm:n leveydelle (KUVA 25). Eristeet tulevat seinäelementin alapuolelle jäävän tyhjän tilan perälle asti. Eristelevynä käytetään 70 mm paksua XPS400-levyä. Levityksen jälkeen eristelevyt yhdistetään toisiinsa ja seinäelementtiin uretaanivaahdolla, jonka jälkeen asennus on valmis (KUVA 26).





KUVA 25. Levitettyjä eristeitä tunnelin seinustalla (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 26. Asennetut eristeet (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

### 5.2.7 Palovesiputkilinja

Palovesilinja asennetaan suunnitelmien mukaan korkoasemaan, joka on eristeiden yläpuolella, toisin kuin on esitetty kuvassa 10. Eristeiden päälle levitetään suodatinkangas (KUVA 27), jonka päälle ajetaan asennushiekka. Varsinainen palovesiputki vedetään kaivinkonetta apuna käyttäen kelalta suoraksi 800 metrin pituisena eristeiden viereen. Vedon jälkeen linjan päät kiinnitetään ja putken annetaan levätä viikon verran, jolloin mahdolliset jännitykset putkessa tasaantuvat (KUVA 28).



KUVA 27. Levitetty suodatinkangas eristeiden päällä (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 28. Suoraksi vedetyn palovesilinjan pään kiinnitys kuormaliinalla (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

Seuraavaksi putki vedetään liinalla asennushiekan päälle. Tässä työvaiheessa oleellista on, että putki pysyy naarmuttomana. Linja tuetaan paikalleen aluksi kuvan 29 mukaisesti, eli asennushiekkaa tukena käyttäen tasaisin välimatkoin, ja myöhemmin peittämällä putki yläpinnan tasoon saakka koko matkalta pois lukien liitoskohdat. Liitokset tehdään sähköhitsauksena (SH-muhvit) palovesikaivojen ja yhdyskäytävien kohdilla (KUVA 30, KUVA 33).



KUVA 29. Palovesilinjan paikalleen tuenta (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 30. Palovesilinjan kulmaliitokset kaivolle (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

Palovesilinjan kulmaliitosten kohtiin tehdään betonivalut. Betonoinnin tarkoituksena on, että kun linjaan päästetään vesi, niin putki ei sysäyksen voimasta pääse liikkumaan irti liitoksistaan (KUVA 31).

Työn etenemisen kannalta on tärkeää, että kaikki putken osat ovat valmiina työmaalla. Kaivojen sisään tulevat venttiiliryhmät on oltava valmiina, jotta palovesilinja saadaan vedettyä kaivoon sisälle (KUVA 32). Tämä työvaihe on tärkeä täyttötöiden etenemisen



kannalta. Kun kaivon putkiasennukset on saatu tehtyä, voidaan kaivon kansi nostaa paikalleen (KUVA 33). Kaivon kannessa tulee olla vaadittavat läpiviennit tehtynä kannen yläpuolelle nousevia putkia varten.



KUVA 31. Palovesilinjan kulmatuen muotti ja rauditus (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 32. Palovesikaivoon asennettu venttiiliryhmä (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 33. Palovesikaivoon asennetut putket ja kansi (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

Kun palovesilinjan asennukset on saatu valmiiksi, pitää putki vielä koepaineistaa. Koepaineistus tehdään koepainepumppua apuna käyttäen (KUVA 35). Putki lasketaan ensin täyteen vettä (KUVA 34), ja sen jälkeen pumpulla nostetaan painetta putkessa. Koepaineistuksen ohessa kiristetään mahdollisesti ilmenneitä vuotavia liitoksia. Putken paine nostetaan 17 bariin saakka, jossa painetta pidettiin ko. työmaalla 30 minuutin ajan ilman muutosta.



KUVA 34. Palovesilinjan paineistus (Lemminkäinen Infra Oy 2013).





KUVA 35. Koepainepumppu (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

#### 5.2.8 Toinen EV-kerros

Ennen toisen EV-kerroksen rakentamista on varmistettava, että alempi EV-kerros täyttää sille asetetut vaatimukset. Kerroksen maksimipaksuus on 300 mm, joka määräytyy välikerroksen maksimipaksuudesta. Kerroksen tiiviysvaatimuksena on, että kerroksen levykuormituskokeilla määritettävien moduuliarvojen suhde on 2,0, mutta kyseisellä työmaalla suhteeksi määriteltiin 3,0.

Kerroksen materiaali ajetaan tunneliin ja levitetään kaivinkoneella noin 100 mm vajaaksi lopullisesta korosta (KUVA 36). Kun kerrosta on levitetty suunnitellulle välille, tehdään kerros lopulliseen korkoonsa tiehöylällä. Tiehöylä käyttää takymetriä apuna kerroksen korkoaseman määrittämisessä (KUVA 37). Takymetriä siirretään sitä mukaa, mitä kerros valmistuu eli noin 150 metrin osissa. Matkaan vaikuttavat tunneliolosuhteet ja radan kaartuminen.

Kerroksen tiivistys tehdään samoin kuten ensimmäisessäkin EV-kerroksessa. Ensin jyritään edes takaisin ilman täryä ja sen jälkeen kerros kastellaan kunnolla. Sitten kerros

jyrätään neljästä kuuteen kertaa täryllä. Lopuksi pinta jyrätään vielä ilman täryä, jotta pinnasta saadaan tasainen ja kiinteä. Tiivistyksen jälkeen on erittäin tärkeää varmistaa, että kukaan työmaalla kulkeva ei aja ajoneuvolla kerroksen pinnan päälle ennen suoja-kerroksen valmistumista.



KUVA 36. Toisen EV-kerroksen täyttöä (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 37. Tiehöylä tasaa kerroksen pintaa (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

### 5.2.9 Suojatäyttö

Suojatäytön tehtävänä on estää eristys- ja välikerroksen häiriintyminen työmaaliikenteen vaikutuksesta. Suojatäyttöä varten levitetään EV2-kerroksen päälle suodatinkangas (KUVA 38). Suodatinkankaan tehtävänä on estää materiaalien sekoittuminen ja helpottaa suojakerroksen purkua. Täytön materiaalina käytetään 0-50 mm mursketta ja se levitetään kuorma-autosta suoraan suodatinkankaan päälle. Auto peruuttaa samalla kiviai-nesta kipaten, jolloin se ajaa suojakerroksen päälle. Lopuksi kaivinkone tasaa kerroksen siten, että kerrospaksuus on suunnitelmien mukainen. Tässä urakassa kerroksen paksuus on 100 - 150 mm. (KUVA 39).

Suojatäyttö voidaan purkaa esimerkiksi kaivinkoneella. Kaivinkoneen tulee varoa eristys- ja välikerroksen vahingoittamista ja tässä apuna toimii suodatinkangas, jonka tulisi säilyä pääsääntöisesti ehjänä. Kyseiseen urakkaan ei kuitenkaan kuulu suojatäytön purku, vaan seuraava urakoitsija purkaa sen ennen tukikerroksen rakentamista.



KUVA 38. Suodatinkankaan levitys (Lemminkäinen Infra Oy 2013).





KUVA 39. Suojatäyttö (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

#### 5.2.10 Kaapelikourut

Kaapelikourut asennetaan suojatäytön päältä ja niiden asennus on urakan viimeinen kerroksen töihin liittyvä työvaihe. Kouruille tehdään arina kaivinkoneella, jonka materiaalina käytetään samaa kiviainesta kuin EV-kerroksessa. Kourujen arinan teossa oleellista on, että sen pinta on tasainen, jolloin kaapelikourujen asennus ja yhteensovitus pykälättömäksi kokonaisuudeksi on helpompaa. Lopuksi arinan päälle levitetään suodatin kangas.

Kaapelikourut ovat betonisia 6000 mm pitkiä ja 350 mm leveitä elementtejä, joissa on ura kaapeleita varten (KUVA 40). Kourut asennetaan paikoilleen nostosaksia apuna käyttäen (KUVA 41). Kourujen työstöä ja yhteensovitusta varten tarvitaan myös timanttisaha. Kouruihin liitetään myös maasta nousevat sähkösuojaputket. Lopuksi kourun päälle asennetaan betoniset kannet, jolloin kourun päälle syntyy kulkutie.



KUVA 40. Kaapelikouru (Lemminkäinen Infra Oy 2013).



KUVA 41. Nostosakset (Lemminkäinen Infra Oy 2013).

## 6 POHDINTA

Tämän työn lähtökohtana oli selvittää eristys- ja välikerroksen rakentaminen kalliotunnelissa. Rakennusvaiheet tulivat esille case Kehärata Viinikkalan asemavarauksen työmaan esimerkin avulla. Myös eristys- ja välikerroksen ohessa kulkevia työvaiheita oli tuotu seikkaperäisesti esille. Kerroksen tekniset vaatimukset oli sisällytetty johdonmukaisesti teoriaosioon. Työssä haettuihin kysymyksiin saatiin siis vastaukset.

Työn varsinainen hyöty rakentajalle on kiteytetty työohjeeseen (liite 1). Työohjeen johdonmukainen eteneminen ja sen tarkistuslistan seuraaminen on varmasti hyödyllinen työväline sekä työnjohtajalle että työntekijälle. Myös itse opinnäytetyöhön on syytä perehtyä ohjeen ohessa, jotta laatuvaatimukset ja työmenetelmät ovat varmasti tiedossa. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää kiviaineksen lajittumista. On erittäin tärkeää varmistua ennen työn aloittamista, että materiaali on kunnossa. Näin vältetään mahdollisilta korjaustoimenpiteiltä ja lisäkustannuksilta.

Jatkokysymyksiä työ antaa paljon. Mitkä ovat työvaiheiden aikataulut? Mitkä ovat työvaiheissa ja niiden sovituksessa parhaat mahdolliset työtavat ajankäytön ja kustannusten hallinnan suhteen? Miten yhteensovitus muiden urakoitsijoiden kanssa työmaalla tapahtuu? Kysymysten perusteella voidaankin todeta, että eri työtapojen kustannustehokkuuden tutkiminen voisi olla hyödyllinen ja kiinnostava jatkotutkimusaihe. Myös yhteensovituksesta muiden urakoitsijoiden kanssa on syytä tehdä selvitys, jotta kulkureitit ja työpisteet ovat auki ja valmiina töiden alkaessa. Työohjeen varsinaista käyttöä ja ohjeen toimintaa voitaisiin myös seurata.

Työn tekijälle työ oli kaiken kaikkiaan erittäin antoisa kokemus. Rakentamisen monipuolisuus korostui eri työvaiheita miettiessä ja niihin tutustuesssa. Mitä syvemmälle työhön tekijä pääsi, sitä kiinnostavammaksi aihe tuli. Varsinkin päivittäinen rakennustyön seuraaminen, ja tarvittaessa jopa siihen osallistuminen työnjohtajien sijaisuuksia tehdessä, paransi lopputuotosta oleellisesti. Kokemusta rakennusalasta syntyi korvaamaton määrä, joka olikin paras ja suurin hyöty itse tekijälle.

## LÄHTEET

Eskelinen, S; Lemminkäinen Infra Oy. 2013. Suullinen tiedonanto. Kehärata/Viinikkalan asemavaraus - tietoa urakan sisällöstä. 21.10.2013, Vantaa.

Lehtinen, M., Nurmi, P. ja Rämö, T. 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Suomen geologinen seura. Helsinki.

Lemminkäinen Infra Oy, Järvenpää, H. 2013. Kuvia Kehäradan/Viinikkalan asemavaruksen työmaalta.

Liikenneviraston Rautatieosasto. 2010. Hankekohtainen tiivistystyöohje, Kehärata. Helsinki.

Liikenneviraston www-sivusto. 2013a. ”4.4.2013: Viinikkalan tunneliasemavaruksen sisustustyöt alkavat.” <<http://www.liikennevirasto.fi/>>. Luettu 16.10.2013.

Liikenneviraston www-sivusto. 2013b. ”Kehärata lyhyesti.” <<http://www.liikennevirasto.fi/>>. Luettu 16.10.2013.

Liikenneviraston www-sivusto. 2013c. ”Kuvat ja kartat.” <<http://www.liikennevirasto.fi/>>. Luettu 16.10.2013.

Tiehallinto. 2001. Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje. Helsinki.

Tiehallinto. 2009. Urakoitsijan laaturaportointi. Helsinki.

Rakennustieto Oy. 2010. InfraRYL 2010 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1 Väylät ja alueet. Helsinki.

Ratahallintokeskus. 2002. Ratatekniset ohjeet (RATO) – Osa 11 Radan päällysrakenne. Liikennevirasto. Helsinki.

Ratahallintokeskus. 2008a. Ratatekniset ohjeet (RATO) – Osa 3 Radan rakenne. Liikennevirasto. Helsinki.

Ratahallintokeskus. 2008b. Ratatekniset ohjeet (RATO) – Osa 18 Rautatietunnelit. Liikennevirasto. Helsinki.

Ratahallintokeskus. 2010. Ratatekniset ohjeet (RATO) – Osa 2 Radan geometria. Liikennevirasto. Helsinki.

Ratahallintokeskus. 2011. Ratatekniset ohjeet (RATO) – Osa 7 Rautatieliikennepaikat. Liikennevirasto. Helsinki.

## 1. TYÖN VALMISTELU TYÖNJOHDON TOIMESTA

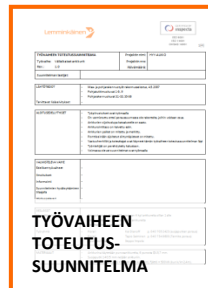
Työohje 11.12.2013

- ☐ Varmistetaan, mitä ollaan tekemässä ja mitä työltä vaaditaan **käymällä läpi sopimusasiakirjat**, suunnitelmat, työselitys, InfraRYL, pohjatutkimukset, jne.
- ☐ Tarkistetaan työkohte **paikan päällä** (perusedellytykset koneille, kuljetuksille, materiaalien varastoinnille, sähkölle, vedelle ja tunnelissa ilmanvaihdon sekä valaistukselle)
- ☐ Tarkistetaan maanalaisten rakenteiden ja tekniikan (sähkö- ja maadoituskaapeleiden, vesi- ja viemäriputkien, yms.) sijainnit (kaapelikartat ja näytöt johtojen haltijoilta)
- ☐ Varmistetaan, että tarvittavat luvat ovat kunnossa (meluluvan käsittelyaika 30 vrk!)
- ☐ Tehdään kalustovalinnan pohjalta **kalustolista** (kaivinkone(et), maansiirtokone(et), tiivistyskone, tiehöylä ja muut koneet ja laitteet)
- ☐ Tehdään tarvittavat **materiaalihankinnat** (polttoaineet, kiviainekset, kaapeli- ja palopostikaivot, sähkö- ja palovesisuoja-putket, palovesilinjan putket ja liitososat (kaivon sisä- ja ulkopuolelle!), viemäriputket, suodatinkankaat, eristeet, kaapelikourut, perustusten muotti-, tartunta- ja raudoitustarvikkeet, betonin toimitus, jne.)
- ☐ Varataan osaava työtiimi (mittamies/-miehet, koneiden kuljettaja(t), apumies/-miehet, putkiasentaja(t))  
**JA/TAI**
- ☐ Kilpailutetaan aliurakoitsija ja laaditaan kirjallinen **aliurakkasopimus**
- ☐ Laaditaan **työvaiheen toteutussuunnitelma** ja muut vaaditut **suunnitelmat** sekä **aikataulu** työn etenemiselle
- ☐ Järjestetään **työvaiheen aloituspalaveri**, johon kaikki työvaiheeseen osallistuvat työntekijät osallistuvat. Myöhemmin työmaalle tulevat perehdytetään työvaiheeseen erikseen. Varmistetaan, että kaikki tietävät mitä ollaan tekemässä ja miksi
- ☐ Suoritetaan koneiden ja laitteiden **KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUKSET**
- ☐ Tehdään vaaditut turvallisuuteen ja ympäristöön liittyvät toimenpiteet (erillinen suunnitelma)

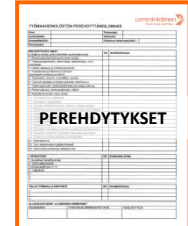


VARUSTELISTA	
Varuste	Varustelu
1. 1000 litran polttoainetankki	1000 litran polttoainetankki
2. 1000 litran vesi- ja viemäriputket	1000 litran vesi- ja viemäriputket
3. 1000 litran vesi- ja viemäriputket	1000 litran vesi- ja viemäriputket
4. 1000 litran vesi- ja viemäriputket	1000 litran vesi- ja viemäriputket
5. 1000 litran vesi- ja viemäriputket	1000 litran vesi- ja viemäriputket
6. 1000 litran vesi- ja viemäriputket	1000 litran vesi- ja viemäriputket
7. 1000 litran vesi- ja viemäriputket	1000 litran vesi- ja viemäriputket
8. 1000 litran vesi- ja viemäriputket	1000 litran vesi- ja viemäriputket
9. 1000 litran vesi- ja viemäriputket	1000 litran vesi- ja viemäriputket
10. 1000 litran vesi- ja viemäriputket	1000 litran vesi- ja viemäriputket

### MATERIAALIHANKINNAT



### KONEIDEN KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUKSET





## 2. TYÖN TOTEUTUS (1/2)

Suluissa referenssikohteen työsaavutus kalliotunnelissa.

### Anturoiden/perustusten teko

- ☐ Anturapohjien auki kaivaminen → sijainti- ja korkotiedot mittamieheltä
- ☐ Arinan teko ja tiivistäminen
- ☐ **HUOM!** Jos pohja on **kalliota**, niin merkitään tartuntakohdat ja porataan tartuntareitit (syvyys ja tartuntaraudan paksuus suunnitelmista)
- ☐ Tartuntojen pulttaus (työn tarkastus valvojan kanssa)
- ☐ Valutyöt: muotin teko, rauditus, mahdolliset tekniikka-asennukset (esim. maadoitukset, putkitukset, ym), valu, jälkihoito ja muotinpurku
- ☐ Täyttötyöt

### Kaapeli- ja palopostikaivojen asennus (2-4 kaivoa / vrk / työryhmä)

- ☐ Sijaintitiedot mittamieheltä
- ☐ Kaivon arinan teko ja poistovesiviemärin asennus
- ☐ Kaivon läpivientien poraukset (tehtaalla tai työmaalla)
- ☐ Kaivon asennus paikalleen (huomioitava mahdolliset kallistukset)
- ☐ Sähkösuojaputkien vedot kaapelikaivojen välille määrättyyn korkoon täyttöjen etenemisen mukaan

### Radanalituksen teko

- HUOM!** Tehdään mahdollisuuksien mukaan ennen ensimmäistä EV-kerrosta, mutta voidaan tehdä myös EV1-kerroksen jälkeen (riippuu asennussyvyydestä)
- ☐ Alituspaikkojen merkitseminen
- ☐ Kohdan auki kaivaminen (korot mittamieheltä)
- ☐ Jos kallio pohja on lähellä maanpintaa, niin tehdään putkitus ja valu suoraan sen päälle. Muussa tapauksessa suunnitelmien mukainen **arina** ja **tiiveyskokeet**.
- ☐ Putkien asennus suunnitelmien mukaisesti (ja liitos kaivoihin/käyrät maan pinnalle/muuhun kohteeseen)
- ☐ Putkien suojavaalu ja valun jälkihoito
- ☐ Täyttötyöt

### Ensimmäisen EV-kerroksen teko (150-200 m / vrk, ~1000 m<sup>2</sup>)

- ☐ Työn valmistelu: **Kiviaineksen laadunvarmistus**, aiemmin tehtyjen asennusten tarkastus, kiviaineksen kasetointialueen (**varastointia vältettävä**) ja kulkureittien varmistus (**ventan minimointi**), koneiden ja kaluston tarkastus, yms
- ☐ Kiviaineksen kuljetus työpisteelle ja sen levitys (esim. kaivinkoneella)
- ☐ Tiivistys työn edetessä (esim. valsijyrällä) ja tiiveyskokeet
- ☐ Tunnelissa eristeiden levitys kallioseinän vierustaan suunnitelmien mukaan.
- Asennettujen eristeiden kanssa tulee olla varovainen, jotta eristeet eivät mene rikki!**
- ☐ Suodatinkankaan asennus suunnitelmien mukaan

### Palovesilinjan asennus (arina ja putki 500 m / 2 vrk)

- ☐ Asennushiekan levitys eristeen ja suodatinkankaan päälle
- ☐ Palovesilinjan veto kelalta suoraksi (esim. kaivinkonetta apuna käyttäen) eristeiden viereen. **HUOM!** Vedon jälkeen putki on sidottava, että **putken jännitykset** tasoittuvat
- ☐ Putkilinjan siirto eristeen päälle hihnoilla → **putken naarmuuntumista vältettävä**
- ☐ Putken ympärystäyttö, pois lukien kaivojen liityntäalueet
- ☐ Putkien asennus kaivoihin/liitosten teko ja kulmatukien valu
- ☐ Putken ympärystäytön viimeistely ja suodatinkankaan asennus sen päälle
- ☐ Painekokeet!

### Toisen EV-kerroksen teko (levitys 200-250 m / vrk, tiehöylä 1200-1500 m<sup>2</sup> / vrk)

- ☐ Kiviaineksen kuljetus työpisteelle ja sen levitys **tiehöylällä** (laser-tasaus)
- ☐ Tiivistys ja tiiveyskokeet (tiivistys 1200-1500 m<sup>2</sup> / vrk)
- ☐ Tarkemmittaus

**HUOMIO! KERROKSEN PÄÄLLÄ EI SAA AJAA AJONEUVOLLA!**

### Suojaustäyttö (1000 m<sup>2</sup> / vrk)

- ☐ Suodatinkankaan levitys kulkuväylän kohdalle
- ☐ Suojaustäytön levitys suodatinkankaan päälle (esim. Bobcatilla)
- ☐ Tiivistys

### Kaapelikourut

- ☐ Kaapelikourujen arinoiden teko (mitä tarkemmin saadaan pinta, sitä helpommin kourut asettuvat paikoilleen)
- ☐ Kohdistetaan kouruihin liittyvät sähkösuojaputket
- ☐ Arinan tiivistys
- ☐ Suodatinkankaan asennus
- ☐ Kourujen asennus paikalleen nostosaksia apuna käyttäen

### Suojaustäytön poisto

- ☐ Töiden päätyttyä **suojaustäyttö poistetaan** tukikerroksen töitä varten
- ☐ Poisto kaivinkoneella **EV-kerroksen häiriintymistä varten**



KAIVUUTYÖT



PORAUKSET JA PULTTAUKSET



KAAPELIKAIVO



ALITUKSET JA SÄHKÖSUOJAPUTKET



ERISTEASENNUS

EV1-KERROS:  
KASTELU JA  
TIIVISTYS

PALOVESILINJAN ASENNUS



### EV2-KERROKSEN TÄYTTÖ, TIIVISTYS JA SUOJAUS



KAAPELIKOURUJEN ASENNUS



## 2. TYÖN TOTEUTUS (2/2)

### ☐ Muut oheistoimenpiteet

- ☐ Koneiden päivittäiset huollot huolto-ohjeen mukaisesti
- ☐ Varaosatilanteen tarkistaminen. Varaosien puutteesta ilmoitetaan työnjohtajalle
- ☐ Mikäli työnjohtaja vaihtuu kesken työvaiheen, varmistetaan tiedon siirto
- ☐ Pohjaveden, painumien ja siirtymien tarkkailu
- ☐ Putkien ja kankien turvalliseen käsittelyyn tulee kiinnittää erityistä huomiota.
- ☐ Suotovesien pumppaus vain luvalliseen paikkaan.
- ☐ Talvella vesiletkujen tyhjennys ja varastointi jäätymisen estämiseksi.
- ☐ **Pöytäkirjojen HUOLELLINEN** täyttö ja **dokumenttien** (kiviainesmäärät, tiiveyskoekiden tulokset, yms) **talteenotto** luovutusmateriaalia varten
- ☐ Mittamies ottaa tarvittavat tarkkeet ja määrät jokaisesta oleellisesta työvaiheesta

### ☐ Töiden lopetus

- ☐ Varmistetaan, että suojaustäyttö on saatu poistettua EV-kerrosta tai suodatinkangasta rikkomatta
- ☐ Varmistetaan, että korkomaailma on oikeellinen (sallituissa rajoissa)
- ☐ Varmistetaan, että vaaditut dokumentit on laadittu
- ☐ Puretaan kalusto kuljetuskuntoon ja kerätään irtonaiset tavarat niille tarkoitettuihin kuljetuslaatikoihin/kontteihin
- ☐ Laaditaan lähetelista jokaiselle toimittajalle menevistä tarvikkeista, varusteista ja koneista
- ☐ Laaditaan **vikalista** koneista
- ☐ Tilataan kuljetukset
- ☐ Siivotaan työalue seuraavaa työvaihetta varten
- ☐ Järjestetään lopetuspalaveri; mitä opittiin (hyvät ja parannettavat asiat)

Nimi: \_\_\_\_\_  
Työnantaja: \_\_\_\_\_  
Toimenkuva: \_\_\_\_\_

Päivämäärä: \_\_\_\_\_

**1. Mitkä ovat tärkeimmät asiat seuraavien kohteiden suunnittelussa/rakentamisessa?**

Paloposti- ja kaapelikaivot:

Radanalitukset ja suoja-putket:

EV1-kerros:

EV2-kerros:

Suojatäyttö ja sen purku:

Kaapelikourut:

Imumuuntajien anturat ja muut perustukset:

**2. Millaisia ongelmia olet kohdannut työssäsi liittyen EV-kerroksen töihin ja miten ne on ratkaistu?**

Vastaus:

**3. Millaisen työryhmän valitset EV-kerrosten rakennukseen? Koneet, laitteet, miehet,...?**

Vastaus:

**4. Millaisia ympäristöön/rakennuskohteeseen liittyviä seikkoja on otettava huomioon EV-kerroksen töitä suunniteltaessa/tehdessä?**

Vastaus:

---

**Nimi:** Jarmo Ilomäki

---

**Päivämäärä:** 21.10.2013

---

**Työnantaja:** Lemminkäinen Infra Oy

---

**Toimenkuva:** Työnjohtaja / maanrakennusvastaava

---

**1. Mitkä ovat tärkeimmät asiat seuraavien kohteiden suunnittelussa/rakentamisessa?**

---

**Paloposti- ja kaapelikaivot:** Kaivot on syytä standardisoida, koska samanlaiset kaivot on helpompi asentaa.

---

Palovesilinjan putki ei taivu kaarelle, joten sen veto mm. salaojakaivojen läheltä voi olla haasteellista.

---

**Radanalitukset ja suojaputket:** -

---

---

**EV-kerros:** Materiaalin erottumista voi olla vaikea hallita, joten materiaaliin on syytä kinnittää huomiota.

---

Kerroksesta otetaan tiiviys- ja seulantakokeita, joilla varmistetaan tiiviyden saavuttaminen ja massan homogeenisyys. Kerroksen pinta on saatava 0-2 cm tasaisuuteen - käytetään tiehöylää.

---

---

**Suojatäyttö ja sen purku:** Suodatinkangas pyritään pitämään ehjänä. Kiviaines raavitaan pois kaivinkoneella - vaatii tarkkuutta.

---

**Kaapelikourut:** Asennetaan suojatäytön päältä. Asennushiekan levityksessä hyvä esim. traktori + sora-mara.

---

---

**Imumuuntajien anturat ja muut perustukset:** -

---

**2. Millaisia ongelmia olet kohdannut työssäsi liittyen EV-kerroksen töihin ja miten ne on ratkaistu?**

---

Vastaus: EV-kerroksen materiaali pääsi erittymään. Erittyminen huomattiin vasta, kun EV1-kerrosta oli asennettu jo n. 1600 m<sup>2</sup>. Massasta kaivettiin pois 300 mm kerros. Kiviaines hankittiin eri lähteestä ja levittämistä jatkettiin.

---

---

Tilaa toimitti tiivistyksestä hankekohtaisen tiivistystyöohjeen. Ensin kerroksen pinta ajetaan ilman täryä kiinni. Sen jälkeen lisätään vesi siten, että se levittyy tasaisesti tiivistettävälle alueelle. Vesi toimii ikään kuin voiteluaineena. Lopuksi tehdään tärytiivistys kolme kertaa ja vielä yksi kerta ilman täryä.

---

**3. Millaisen työryhmän valitset EV-kerrosten rakennukseen? Koneet, laitteet, miehet,...?**

---

Vastaus: Kaivinkone, tiehöylä, täryjyry ja vesiajoneuvo. Tunnelissa mukana mittamies ja maanpinnalla voidaan käyttää GPS:iä. Apukoneena KUP18. Varsinaisia apumiehiä ei kerroksen töihin tarvita, mutta palovesilinjan asentaja ja valumiehet tulee löytyä työmaalta.

---

**4. Millaisia ympäristöön/rakennuskohteeseen liittyviä seikkoja on otettava huomioon EV-kerroksen töitä suunniteltaessa/tehdessä?**

---

Vastaus: Organisoinnin merkitys korostuu tunnelissa. Kapea tila vaikeuttaa mm. tavaran toimitusta.

---